

Исследование поведения самофлюсующихся сплавов Ni-C-Cr-Si-B в экстремальных условиях системы»¹

Криворогова А.С., Ильиных Н.И., Ильиных С.А., Гельчинский Б.Р.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения РАН (ИМЕТ УрО РАН), Екатеринбург

Защита механизмов, машин и металлических конструкций от коррозии и износа, повышение долговечности механизмов, формирование на поверхности изделий слоев со специальными функциональными свойствами является одной из важнейших и актуальных научно-технических задач. Одним из эффективных методов защиты, позволяющим существенно повысить показатели надежности машин, продлить срок службы новых и восстановленных деталей, экономить дефицитные материалы, является нанесение газотермических покрытий [1-3]. В качестве материалов для нанесения таких покрытий используются самофлюсующиеся сплавы [4] на основе никеля или кобальта, которые используют бор, фосфор или кремний, по отдельности или в комбинации, в качестве депрессантов температуры плавления и флюсующих агентов.

Для проектирования и оптимизации процессов нанесения газотермических покрытий необходимо усовершенствовать наши представления о структуре жидких сплавов, так как термическая обработка расплава может сильно влиять на свойства затвердевших материалов. Одним из эффективных способов решения этой проблемы является применение методов компьютерного моделирования.

Целью настоящей работы является исследование поведения самофлюсующихся сплавов Ni-C-Cr-Si-B при нагревании.

Компьютерный эксперимент проведен с использованием методики термодинамического моделирования и программного комплекса TERRA [5-6]. Моделирование выполнено в интервале температур 300 – 3000 К при общем давлении $P=105$ Па в атмосфере аргона.

Исходное содержание компонентов моделируемых систем соответствовало составу порошковых самофлюсующихся материалов на основе никеля (масс. %): ПГСП-2 (Ni - 79.3, C - 0.5, Cr - 15, Si - 3.2, B - 2) и ПГСП-4 (Ni - 74.3, C - 1, Cr - 17, Si - 4.1, B - 3.6). Содержание аргона для обеих систем составляло 1 масс. %.

При моделировании учитывались элементы, ионы и соединения: газообразные: Ar, электронный газ e-, Ni, C, Cr, Si, B, C₂, C₃, C₄, C₅, Si₂, Si₃, SiC, Si₂C, SiC₂, Si₂C₂, Si₃C, B₂, BC, B₂C, BC₂, Cr₂, CrC₂, Ar⁺, Si⁺, Ni⁺, Cr⁺, B⁺, C⁺, C⁻, C₂⁺, C₂⁻; конденсированные: Ni, C, Cr, Si, B, Ni₃C, NiB, Ni₃B, Ni₂B, Ni₄B₃, NiSi, NiSi₂, Ni₂Si, Ni₇Si₁₃, SiC, SiB₁₄, B₄C, B₄Si, B₆Si, CrB, CrB₂, Cr₃B₄, Cr₅B₃, Cr₃C₂, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆, CrSi, CrSi₂, Cr₃Si, Cr₅Si₃.

Рассчитаны температурные зависимости равновесного состава и термодинамических характеристик (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) исследуемых систем. Показано, что в конденсированной фазе, образующейся при нагревании ПГСП-2, возможно существование Ni, Cr, C, Ni₃B, Ni₂B, NiB, Ni₂Si, NiSi, CrB, CrSi. При нагревании ПГСП-4 в конденсированной фазе, наряду с казанными выше компонентами, образуются соединения Cr₅B₃, CrB₂ Cr₃C₂. Содержание других компонентов незначительно. Показано, что температурные зависимости термодинамических характеристик обеих систем не являются монотонными, а имеют изломы, которые можно объяснить фазовыми превращениями.

Список литературы:

- [1] Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление. /Пер. с японского. Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. М.: Машиностроение. 1985. 240 с.
- [2] Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: учебное пособие / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 360 с.
- [3] Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та. 2013. 406 с.
- [4] Tucker R.C., Jr. Introduction to Coating Design and Processing //ASM Handbook, 1994, V.5. P.497-509.
- [5] Сиярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. М.: Наука, 1983. 263
- [6] Трусов Б.Г. Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2012. С. 240-249.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-21-00063 Росатом